

МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО СТАНА І ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ НИМ ЯК БАГАТОЗВ'ЯЗНИМ ОБ'ЄКТОМ

Борисов О.О., Попов В.О.

Донецький національний технічний університет,
кафедра автоматики і телекомунікацій
E-mail: alexbor@fcita.dn.ua

Abstract. *Borisov A., Popov V. Modeling continuous mill and bases of controlling by it as multi-connected by object. In the article offered dynamic process model continuous cool strip rolling. It is designed for realization in computer systems of automatic control rolling mills. Model is based on several different from traditional beliefs about the kinematics and speaker of unceasing rolling.*

Загальна постановка проблеми і мета дослідження. Підвищені вимоги до якості холоднокатаного листа в умовах максимальної продуктивності станів безперервної прокатки визначають, поряд з удосконаленням технологічного устаткування, розробку нових алгоритмів автоматичного управління. У цьому зв'язку є актуальним моделювання процесу прокатування як багатозв'язного об'єкту управління. Основні проблеми автоматизації і нові принципи розробки математичної моделі процесу безперервного листопрокатування були розглянуті у роботах [1,2].

Метою даної роботи є подальший розвиток принципів моделювання безперервного стану як багатозв'язного об'єкта управління і розробка основ управління ним на базі запропонованих моделей: розробка моделей взаємовпливу міжклітьових натягів і обтиснення в клітях стану; моделі каналу управління товщиною смуги; формування принципів управління натискним пристроєм стану; розробка основ управління прокаткою як багатозв'язним об'єктом.

Аналіз досліджень і публікацій по розглянутій проблемі. Найбільш суттєвим вкладом в розробку багатозв'язної динамічної моделі прокатного стану є праці М.М.Дружинина і його послідовників. Великий інтерес в цій області представляють праці сучасних українських фахівців [4,5].

У роботі [1] було показано, що основне рівняння динаміки безперервного прокатування нелінійно і подана система рівнянь, що описує процес прокатки:

$$\begin{cases} H_i(p) = K_{Hi}(p)u_{Hi}(p) + k_H \\ H_i^{i+1}(p) = H_i(p)e^{-\tau_i(p)p} \\ w_i(p) = K_{wi}(p)u_{wi}(p) - K_{Mi}(p)M_{ci}(p) \\ M_{ci}(p) = k_{Mi}(H_{i-1}(p) - H_i(p)) + R_{i\{}(T_{i-1,i}(p) - T_{i,i+1}(p)) \\ pT_{i,i+1}(p) = k_{Ti,i+1}(H_i(p)w_{i+1}(p) - H_{i-1}(p)w_i(p)) \end{cases}, \quad (1)$$

де H_{i-1}^* — товщина смуги вхідної в i -у кліть, H_i — товщина смуги вихідної з i -ї кліті, T_{i-1} — натяг смуги на вході в i -у кліть, T_i — натяг смуги на виході з i -ї кліті, w_i — кутова швидкість валків i -ї кліті, $K_{Hi}(p)$ — передатна функція замкнутої системи управління натискним пристроєм, $u_{Hi}(p)$ — значення керуючого сигналу на вході системи управління натискним пристроєм, $K_{wi}(p)$ — передатна функція замкнутої системи управління швидкістю двигуна головного приводу, $u_{wi}(p)$ — завдання на систему керування швидкістю двигуна головного приводу, $K_{Mi}(p)$ — передатна функція двигуна головного приводу щодо моменту навантаження, $M_{ci}(p)$ — момент навантаження двигуна головного приводу, R_i — радіус валків, k_H, k_M, k_T — адаптивні коефіцієнти відповідно в каналах зміни товщини, моменту прокатування і натягів смуги (визначаються, наприклад, на базі теорії нейромереж), $\tau_i(p)$ — міжклітьове запізнювання.

У даній системі рівнянь перші два рівняння варто відносити переважно до процесу обтиснення металу, а інші до динаміки натягів і швидкісних характеристик процесу прокатки.

Розв’язання поставленої задачі і результати досліджень. Розглянемо докладніше математичне моделювання процесу обтиснення в клітях, що описується системою

$$\begin{cases} H_i(p) = K_{Hi}(p)u_{Hi}(p) + k_H \\ H_i^{i+1}(p) = H_i(p)e^{-\tau_i(p)p} \end{cases}. \quad (2)$$

Тут
$$k_{Hi} = \frac{P_i}{K_i} + k_{Vi}, \quad (3)$$

де P_i — зусилля прокатки, K_i — коефіцієнт жорсткості пружної системи кліть-валок, k_{Vi} — адаптивний коефіцієнт враховуючий товщину масляної плівки в підшипниках, швидкість прокатування і т. д.

Натяг смуги впливає на зусилля прокатки, а отже і на товщину металу на виході з кліті (рис.1).

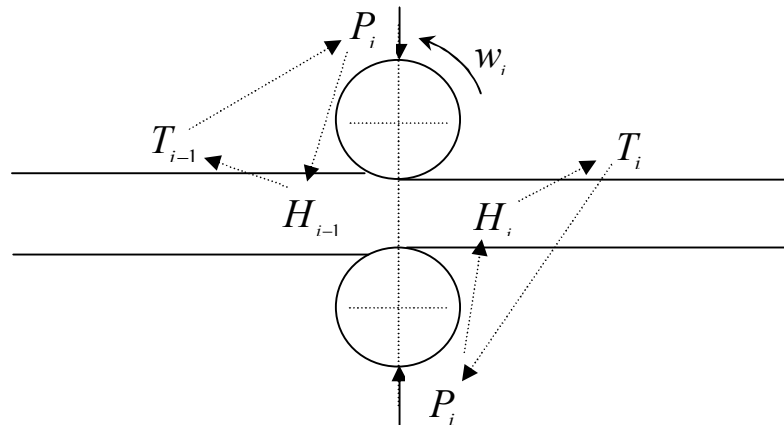


Рисунок 1 — Схема взаємовпливу натягів і обтиснення в кліті

У теорії прокатки приводиться достатньо велика кількість виражень, що враховують цей вплив. Найбільше просто його враховує формула У.Хессенберга і Р.Симса

$$P_i = P_i' \left(1 - \frac{T_{i-1,i} + T_{i,i+1}}{4\sigma_s} \right) \quad (4)$$

де P_i' — зусилля прокатки без урахування натягів, а σ_s — опір чистому зсуву.

Таким чином, систему (2) можна записати у вигляді

$$\begin{cases} H_i(p) = K_{Hi}(p)u_{Hi}(p) + k_{Pi} - k_{P\sigma i}(T_{i-1,i}(p) + T_{i,i+1}(p)) + k_{Vi} \\ H_i^{i+1}(p) = H_i(p)e^{-\tau_i(p)p} \end{cases}, \quad (5)$$

де $k_{Pi} = \frac{P_i'}{K_i}$, $k_{P\sigma i} = \frac{P_i'}{4\sigma_i}$.

У такому вигляді перше рівняння системи (5) відображає залежність товщини смуги на виході з кліті від міжклітьових натягів. Друге рівняння враховує міжклітьове запізнювання. Тому що швидкість смуги на виході з кліті є функцією товщини металу на її вході [1], міжклітьове запізнювання, що визначається як відношення міжклітьової відстані до швидкості смуги на виході з попередньої кліті, є перемінним. Таким чином, управління обтисненням у клітях є задачею знаходження таких вхідних впливів $u_{Hi}(t)$, при яких об'єкт може переходити з одного заданого стану в інший. Звідси виникає необхідність у чіткому визначенні поняття керованості об'єкта управління. Якщо в звичайній динамічній системі її стан у даний момент часу t_1 цілком визначається станом $H(t_0)$ у попередній момент часу t_0 і відрізком вхідного впливу

$u_{Hi}[t_0, t_1]$, що є управлінням, то в системі з запізнюванням у якості ще одного елементу управління повинна задаватися початкова функція на відріжку часу $[t_0 - \tau(t_0), t_0]$.

Ця обставина істотно ускладнює задачу визначення керованості системи. Справа в тому, що простором управлінь такої системи є множина упорядкованих пар припустимих вхідних впливів $u_{Hi}(t)$ і припустимих значень початкових функцій $H_0(t)$. Отже, для управління об'єктом із запізнюванням необхідно знайти таке кусково-безперервне управління $u_{Hi}(t)$, що забезпечить перехід системи зі стану $H(t_0)$ у стан $H(t_1)$ при заданому значенні функції $H_0(t)$. При цьому основна трудність полягає в тому, що для можливості подальшого управління від моменту часу t_1 і далі необхідно знати значення функції $H(t)$ на відріжку часу $[t_1 - \tau(t_0), t_1]$, що грає роль нової початкової функції $H_1(t)$.

Це означає, що керування натискним пристроєм $u_{H1}(t)$ повинно бути таким, щоб забезпечити при заданій початковій функції $H_0(t)$ задане значення товщини смуги $H(t_1)$ у точці t_1 і заданий відрізок функції $H(t) = H_1(t)$. На наступному відріжку часу шукається управління натискного пристрою $u_{H2}(t)$ при заданій початковій функції товщини смуги $H_1(t)$. Таким чином, при зазначених умовах можна забезпечити безперервність управління. Таке регулювання відноситься до задачі управління системою з пам'яттю. Синтез регулятора для системи з перемінним запізнюванням, що описується

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(t)X(t) + B(t)X(t - \tau(t)), \\ Y(t) &= C(t)X(t), \quad t \geq t_0, \end{aligned} \quad (6)$$

із початковою функцією $H_0(t)$, визначеною на відріжку часу $[t_0 - \tau(t_0), t_0]$, потребує попереднього розгляду питання спостережності системи. У роботі [3] показано, що система буде спостережною на відріжку часу $[t_0, t_1]$, тоді і тільки тоді, коли матриці $B(t)$ і $C(t)$ будуть мати ранг рівний числу рядків вектора $H_0(t)$.

Структурна схема моделі каналу управління товщиною смуги чотирьохкільцевого стана подана на рис. 2. Передатна функція замкнутого контуру регулювання натискним пристроєм (рис. 2) є коливальною ланкою:

$$K_{Hi}(p) = \frac{1}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1}.$$

Для більшості сучасних гідравлічних натискних пристроїв $T_0 = 0,07c, \xi = 0,7$ [4].

Міжкільцеве запізнювання, як перемінна величина, визначається як відношення міжкільцевої відстані до швидкості смуги на виході з попередньої клі-

ті. При цьому швидкість прокату на виході кліті доцільно визначати прямим виміром на стані за допомогою спеціального датчика.

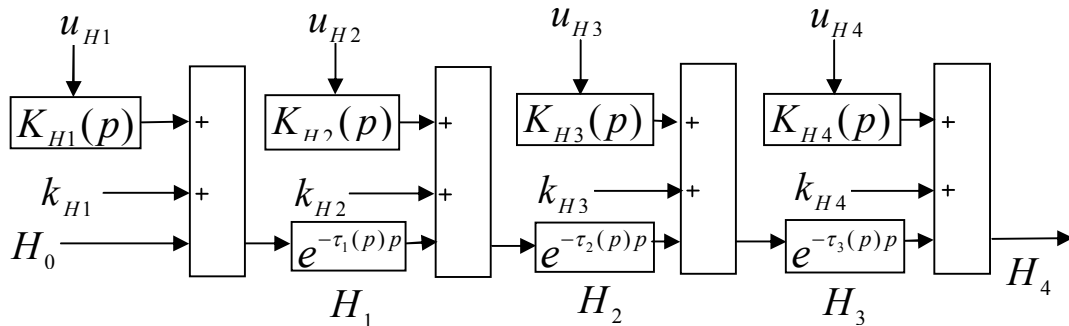


Рисунок 2 — Структурна схема моделі каналу управління товщиною смуги

Також є немаловажним питання взаємовпливу динаміки міжклітьових натягів і динаміки процесу обтиснення в клітях.

Модель цього взаємовпливу відповідно до системи (1) з урахуванням (5) приведена на рис. 3.

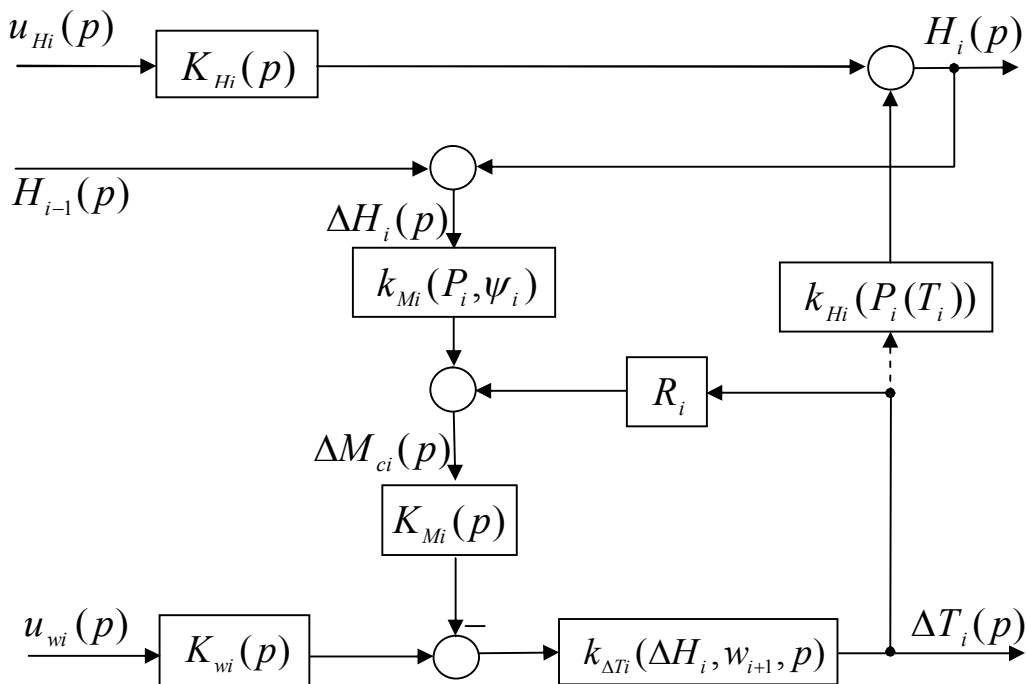


Рисунок 3 — Модель взаємовпливу міжклітьових натягів і обтиснення в клітях

Управління процесом на базі вищенаведеної моделі можливо по двох основних алгоритмах:

1. Алгоритму з урахуванням усієї багато зв'язності об'єкта і взаємовпливу збурень у каналах регулювання товщин і натягів прокату. Розробка такого алгоритму досить складна і відноситься до задач синтезу, тому що в рівняння входять перемінні залежні від рішень цих рівнянь.

2. Спрощеного алгоритму управління, у припущенні, що обурення в каналах регулювання товщин і натягів прокату обумовлені їхнім взаємовпливом мінімізовані відповідними системами автоматичного регулювання.

До недоліків першого з цих алгоритмів варто відносити те, що при його виборі необхідно оперувати максимально точними параметрами і їхніми математичними залежностями, що в реальних умовах вкрай важко. Задача ускладнюється тим, що її необхідно вирішувати в нелінійному варіанті з перемінним запізнюванням.

Другий алгоритм управління значно простіше, тому що фактично складається з двох незалежних алгоритмів:

– алгоритму управління товщиною смуги з цільовою функцією

$$H_i(p) \rightarrow const;$$

– алгоритму управління натягом смуги з цільовою функцією

$$\Delta T_i(p) \rightarrow 0.$$

Необхідно зазначити, що при цьому можлива лінійна постановка задачі регулювання натягу смуги та її рішення методом простору станів [2].

Схематично відмінність між проаналізованими алгоритмами виражається в урахуванні зв'язку показаного на рис. 3 пунктирною стрілкою. Фізично цей зв'язок враховує вплив міжклітьових натягів на зусилля прокатування, що у свою чергу впливає на товщину смуги. При ідеально працюючій системі автоматичного регулювання міжклітьових натягів цей вплив відсутній. Проте в реальних умовах швидкодія двигунів головного приводу не може забезпечити повну стабілізацію натягу смуги. З іншої сторони, боротьба з занадто високочастотними складовими збурень міжклітьових натягів засобом регулювання по каналу управління товщиною прокату недоцільна через підвищений знос натискних пристроїв [4].

Аналізуючи вираження (4), можна зауважити, що значення заднього і переднього натягів входять у нього з одним знаком. Таким чином, зміна обтиснення в кліті призводить до пропорційної зміни як переднього, так і заднього натягів, тому очевидно, що ці обурення значно не впливатимуть на зусилля прокатки, а отже і на різновтовщинність смуги. Більш детальне вивчення цього питання має певний інтерес.

Подальший розвиток досліджень є доцільним у напрямку розробок практичних моделей процесу безперервної прокатки, наприклад, в середовищі програмного продукту Matlab, з метою визначення оптимального алгоритму управління безперервним станом.

Висновки

1. Розроблені нові моделі безперервного стану, які відрізняються від відомих урахуванням змінного міжклітьового запізнення та динаміки натискних пристроїв, а також новим математичним представленням про взаємовплив міжклітьових натягів і обтиснення в клітках стану.

2. Розробка системи управління натискним пристроєм стану повинна базуватися на принципах управління системою з пам'яттю.

3. Управління процесом на базі вищенаведеної моделі можливо по двох основних алгоритмах:

– алгоритму з урахуванням усієї багатозв'язності об'єкта і взаємовпливу збурень у каналах регулювання товщин і натягів прокату;

– спрощеному алгоритму управління, у припущенні, що збурення мінімізовані відповідними системами автоматичного регулювання. При цьому можлива лінійна постановка задачі регулювання натягу смуги.

Література

1. Борисов А.А., Мокрый Г.В. Математическая модель процесса непрерывной листопрокатки как объекта управления // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 48. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С.92–100.
2. Бессараб В.І., Борисов О.О. Проблеми автоматизації процесу холодної листопрокатки // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 38. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С.7–12.
3. А.В. Солодов, Е.А. Солодова. Системы с переменным запаздыванием. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. — 384 с.
4. Автоматизация управления листовыми прокатными станами / Кузнецов Б.И., Опрышко И.А., Богаенко И.Н. и др. — К.: Техника, 1992. — 231 с.
5. В.Л. Мазур, О.М. Саф'ян, І.Ю. Приходько, О.І. Яценко. Управління якістю тонколистового прокату. — К.: Техніка, 1997. — 384 с.

Здано в редакцію:

Рекомендовано до друку: д.т.н., проф. Ткаченко В.Н.